

---

## 码盘(Encoder)在赤道仪中的应用科普

本文仅针对在赤道仪中常见的码盘进行科普讲解，便于大家理解码盘以及相关的一些知识。部分内容可能不够专业，请自动忽略。详细的相关信息，请自行搜索。

码盘(Encoder)，是用来测量角位移的数字编码器。它具有分辨能力强、测量精度高和工作可靠等优点，是测量轴转角位置的一种最常用的位移传感器。

### 分类方式

根据工作方式，分为：接触式，光电式等。

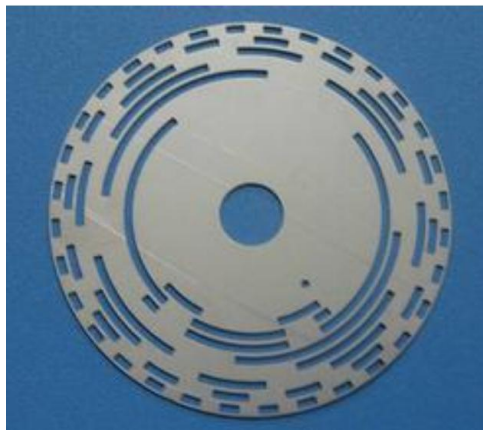
根据刻度方法和信号输出方式，大的分类为：绝对式，增量式等。

根据检测原理，分为：光学式，磁式，感应式和电容式等。

根据材质有玻璃，金属，塑料，树脂等。

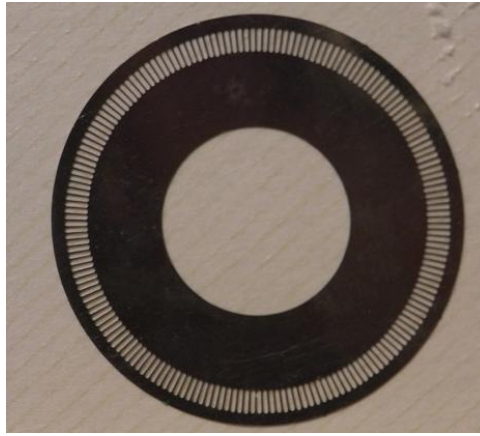
### 码盘的样子

绝对型：



这种码盘能直接给出与角位置相对应的数字码。

增量型：



利用计算机系统将旋转码盘产生的脉冲增量针对某个基准数进行加减以求得角位移。

### 码盘的精度

码盘的精度，通常以刻线多少来决定。是将一个圆(360 度)，均匀的分成 N 个刻度。如 360 线，即代表每个刻度是 1 度。3600 线，代表每个刻度是 0.1 度。

要增加码盘的精度，常规方法就是增加刻线的数量。但是增加到一定程度后，就难以实现。这时，可以通过一定的算法，进行插值运算，达到实现更多刻线的能力，并且不影响精度(或极轻微的影响精度)。

码盘自身的精度：通常来说，高精度码盘，自身的精度大约在几角秒~几十角秒这个数量级上。需要注意的是，这个精度指的是码盘旋转完整一周的精度误差，对应到赤道仪上，就是 24 小时连续跟踪的误差。分解到每分钟或每几十分钟的范围内，误差会极小。

总的来说，码盘的刻线越多，精度就越高。常见的高精度赤道仪，如 iOptron CEMxx-EC 系列，ASA 的 DDMxx 系列，10Micro xxxxHPS 系列，刻线会达到 1200 万以上，使其能达到 0.1 角秒以上的分辨率，从而获得极佳的跟踪精度。

### 码盘在赤道仪中的常见的应用

#### PEC 码盘

PE(Periodic Error) , 周期误差。指的是蜗杆旋转一周所产生的误差。通常会有 2 个数值来标注：

1. 误差精度(如：xxx 角秒)

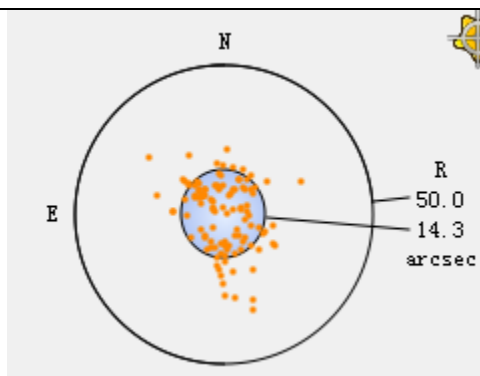
2. 周期时间(如：xxx 秒)，该数值根据蜗轮总齿数来确定。常见赤道仪齿数与周期时间如下：

品牌	型号	赤经齿数	周期时间(秒)	官方标称 PE
Sky-Watcher	EQ8	435	198.0784	-
Sky-Watcher	AZ-EQ6	180	478.6894	-
Sky-Watcher	NEQ6	180	478.6894	-
Sky-Watcher	AZ-EQ5	135	638.2525	-
Sky-Watcher	HEQ5	135	638.2525	-
Sky-Watcher	EQ3 Pro	130	662.8007	-
iOptron	CEM60	288	299.1809	<±5 角秒(普通版，峰值) <0.3 角秒(EC 版，RMS 值)
iOptron	iEQ45 Pro	256	336.5785	-
iOptron	iEQ45	216	398.9078	-
iOptron	iEQ30 Pro	180	478.6894	-
iOptron	iEQ30	180	478.6894	-
iOptron	CEM25	144	598.3617	无(普通版) <±0.6 角秒(EC 版，峰值)
iOptron	ZEQ25	144	598.3617	-
Software Bisque	Paramount ME	576	149.5904	<7 角秒(峰峰值)
Software Bisque	Paramount ME II	576	149.5904	<7 角秒(峰峰值)

Software Bisque	Paramount MX	375	229.7709	<7 角秒(峰峰值)
Software Bisque	Paramount MX+	375	229.7709	<7 角秒(峰峰值)
Software Bisque	Paramount MyT	320	269.2628	<7 角秒(峰峰值)
Takahashi	EM-11	144	598.3617	<±10 角秒(峰值)
Takahashi	EM-200	180	478.6894	<±5 角秒(峰值)
ASA	DDM60	-	-	<0.4 角秒(RMS 值)

#### 注意：

- 1) 齿数越多，周期时间就越短，误差影响的范围就越小。PE 误差指的是赤经轴。
- 2) 官方标称 PE 数据的赤道仪 通常都是经过原厂内部严格检测(包括零部件精度 ,安装调测精度等)，确保生产出来的赤道仪精度均能达到标称范围以内。是一种厂商对产品质量的信心及保障。
- 3) 官方未标称 PE 数据的赤道仪：通常该类赤道仪的精度处于一定范围内波动，要想买到某精度以内的产品，需要靠人品来保证。(波动原因大致有：零部件精度导致，安装调测导致等)
- 4) 通常来说，有官方标称 PE 数据的赤道仪会比未标称 PE 数据的赤道仪要贵一些。因为包含了不合格零部件的更换，安装调测的时间以及相对高级人员的人力成本等。
- 5) 误差的标注方法解析：
  - a) 峰值，通常有正负号，标明最大值和最小值。如：<±5 角秒，代表跟踪误差在-5~+5 角秒之间。
  - b) 峰峰值，峰值最大值和最小值的绝对值相加之和。如：<7 角秒，这种可能是-3~+4 角秒，也可能是-3.5~+3.5 角秒。
  - c) RMS 值，是所有数据先平方再平均最后开方。在常用天文软件 MDL 和 PHD 导星时，经常会出现这个数值。可以简单的理解为，有大多数的数据，是在 RMS 值附近或者以内。



如上图所示，最大值为 50，而 RMS 值为 14.3

d) 转换公式如下：

$$\text{峰峰值} = |\text{负峰值}| + |\text{正峰值}|$$

RMS 值 大约= 峰值/3(仅供大致参考，并不绝对。如果极少出现峰值时，RMS 值会远远低于这个比例)

PEC(Periodic Error Correction)周期误差校正。PEC 码盘，就是用来检测蜗杆旋转了一周的误差(对应蜗轮一个齿)，大小约为几 mm~十几 mm 直径，没有太多的精度可言(只有几~几十线)。但可以辅助记录每秒钟的误差数据，用来降低误差。大约可以降低至原先的 1/2~1/5 的水平。

## 辅助码盘

通常安装于赤经和/或赤纬轴上，刻线大约为几千~几万线，精度为角分级别。用来记录赤经和赤纬转动的角度(无论是否松开锁紧的情况下)，常见使用的赤道仪如下：

品牌	型号	刻线数量	精度
Sky-Watcher	EQ8	17624	1.2 角分
Sky-Watcher	AZ-EQ6	6356	3.4 角分
Sky-Watcher	AZ-EQ5	5144	4.2 角分

## 跟踪校正码盘

常见于使用直流电机的赤道仪，通常直接安装于电机转轴上，用来与直流电机搭配，实现闭环跟踪。

## 高精度码盘

各种赤道仪，通常会有一个分辨率指标。如：0.x 角秒或 0.0x 角秒，这个仅代表该赤道仪的电机最小分辨单位，实际上，会受零部件/安装调测等因素，导致赤道仪的精度会上升 1-2 个数量级，在几角秒~几十角秒之间。

为了极大的降低这种误差，通常会在赤经轴上安装高精度码盘，这种码盘直径较大(通常 100mm 以上)，刻线数较多(通常通过插值达到 1200 万线以上)。根据码盘反馈的数字信息，实时(大约为几十 ms 级别)对赤道仪的跟踪误差进行修正，将精度提升至原有机机械精度的 10 倍或以上。

注意：

- 1) 一般情况下，赤纬轴不参与跟踪，所以赤纬轴上是没有高精度码盘的。
- 2) 为避免导星/视宁度等带来的误差，某些高端赤道仪会采用无导星的双轴跟踪机制。在这个时候，赤纬轴会参与跟踪。此时在赤纬轴上加入高精度码盘，会极大的降低赤纬轴的 PE 误差。
- 3) 相比赤经轴的高精度码盘，因为在极轴准确的情况下，赤纬轴本身偏移量较小，赤纬轴加上高精度码盘的效果要小一些。但为了追求极致，可以考虑加上。
- 4) 大多高精度赤道仪厂家使用的是增量型码盘，不能在松开赤经/赤纬轴后记录坐标，需要额外添加辅助码盘来实现。而使用绝对型码盘的赤道仪(如：ASA 的 DDM 系列)，可以在松开赤经/赤纬轴后记录坐标，同时实现辅助码盘的功能。(记录精度与跟踪精度相同，可达角秒级)

(以下语句为引用)

**因地基望远镜受大气的影**响，跟踪精度达到 0.x 角秒，几乎就是性能的极致。在使用这种设备的时候，更多的应该考虑的是极轴以及指向(Goto)的精度。

**注：本文涉及各品牌赤道仪的相关数据，均为引用各自官网信息。**